



УДК 631.6.(575.2)

© 2016 г. **К.А. Пресняков**, д-р техн. наук,  
**Г.К. Керимкулова**, канд. физ.-мат. наук  
(Институт автоматизации и информационных технологий НАН КР, Бишкек)

## НЕТРАДИЦИОННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО КЛАССА ДЕФИЦИТА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Исследован взвесенесущий поток воды (с расходами воды  $Q = 0,29, \dots, 0,37$  м<sup>3</sup>/с, без измерения наносных характеристик) на подводящем канале р. Тору-Айгыр в режиме частично изученного водотока. В результате диффузионной теорией идентифицированы 2 из 12 опытов. Применение дополнительных (физических) ограничений позволяет в 11 раз сократить объем вычислительных работ на промежуточных этапах анализа.

**Ключевые слова:** модель, метод, нетрадиционная идентификация, режимные параметры, матрица, изученный водоток, частично изученный водоток.

DOI: 10.22250/isu.2016.49.36-46

### Введение

Извечным вопросом любого научного исследования является сравнение эксперимента с теорией. Не представляет исключения и область гидравлики и гидротехнических сооружений.

Впервые для указанных условий попытка подобного сравнительного анализа (идентификация эксперимента теорией) была предпринята одним из авторов в работе [1]. Однако использованный подход страдал отсутствием системности анализа и ограниченным кругом привлеченного аналитического материала.

В дальнейшем был разработан метод идентификации режимов водозаборного сооружения, основная идея которого заключалась в эмпирической идентификации (оригинальная измерительная часть) с одной стороны, и в расчетах основных технологических параметров на основе ряда гидравлических моделей течения воды через отдельные конструктивные элементы этого сооружения, – с другой [2].

В то же время представляет интерес подобная идентификация режимных параметров открытых водотоков (вне зоны влияния гидротехнических сооружений). Этот метод, легализованный в 2010 г. [3], получил название «нетрадиционная идентификация».

Модель и методы нетрадиционной идентификации [3, 4] основаны на отдельных положениях диффузионной [5] и гравитационной [6] теорий взвесенесущего потока воды с использованием полуэмпирических распределений скорости

и мутности воды: В.М. Маккавеева, А.В. Караушева [5], М.А. Великанова [6], Е.В. Клевцова [7], Доу Го-женья [8], Ю.А. Ибад-Заде [9, 10], К. Загустина [11], Кармана, Тэйлора-1 и Тэйлора-2 [6].

Предлагаемый анализ связан с использованием ряда ограничений модели и метода по применению указанных теоретических положений к рассматриваемому эмпирическому материалу. Среди них выделяются дополнительные (физические) ограничения [12], учитывающие слабости расчетных профилей скорости воды в описании ее течения в придонной части потока, а также противоречия теорий в предсказании значений относительной мутности воды на поверхности потока.

Кроме того, необходимо учесть, что водотоки могут функционировать в вариантах изученного (ВИВ) и частично изученного (ВЧИВ) водотоков.

### Постановка задачи

В работе [13] на основе модели и метода нетрадиционной идентификации частично изученных открытых водотоков была поставлена *общая задача исследований*: установить сходство и различия в способах восстановления недостающей информации для объектов различного класса дефицита исходной информации с выявлением возможного положительного эффекта от применения дополнительных (физических) ограничений модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков.

При решении указанной задачи на примере первого объекта, а именно: взвесенесущего потока воды на подводящем канале (ПК) р. Тору-Айгыр (расходы воды  $Q = 0.290, \dots, 0.314 \text{ м}^3/\text{с}$ ; средний диаметр взвешенных наносов  $\bar{d} = 1.77, \dots, 2.24 \text{ мм}$ ; средняя мутность воды  $\bar{S} = (1.87, \dots, 4.82) \cdot 10^{-1} \text{ кг/м}^3$  – опыты {11; 12}, {13; 14}, 15) установлен способ восстановления значений средней скорости воды на основе показательного профиля с учетом координаты наблюдения упомянутого параметра; идентифицирован опыт 15 показательным профилем скорости воды (прогнозно) и распределением мутности В.М. Маккавеева с выявленной недогруженностью потока воды взвешенными наносами; установлен положительный эффект от использования в процессе идентификации дополнительных (физических) ограничений.

### Задача исследований

В развитие указанной общей задачи исследований в настоящей работе предлагается решить следующую *частную задачу* исследований, а именно: установить способ восстановления недостающей информации для объекта второго класса дефицита исходной информации (взвесенесущий поток воды с расходами ее  $Q = 0.29, \dots, 0.37 \text{ м}^3/\text{с}$  без измерения наносных характеристик – опыты 16...27 ПК р. Тору-Айгыр) с выявлением возможного положительного эффекта от применения дополнительных (физических) ограничений модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков.

Исходные данные объекта исследований [14, с. 28, т. 1.3]: уклон дна канала  $i = 0.04, \dots, 0.09$ ; относительная шероховатость дна канала  $\tilde{\Delta} = 0.0052, \dots, 0.0280$ ;

глубина наполнения канала  $H = 0.16, \dots, 0.21$  м; средняя скорость воды  $\bar{u} = 1.45, \dots, 1.81$  м/с; максимальная скорость потока воды  $u_m = 1.74, \dots, 2.17$  м/с (произведена оценка значений  $u_m$  по показательному профилю скорости воды в связи с утерей (после обработки данных в работе [14]) значений поверхностной скорости); динамическая скорость потока воды  $u_* = 0.217, \dots, 0.339$  м/с.

Вспомогательные данные: коэффициент Шези  $C_{cp} = 28, \dots, 36$  м<sup>1/2</sup>/с; параметр показательной зависимости  $m = 4, \dots, 5$ ; параметр параболы и распределения Ю.А. Ибад-Заде  $m_1(C_{cp}) = 12.8, \dots, 15.6$  м<sup>1/2</sup>/с; отношение донной к максимальной скорости водного потока  $u_\delta/u_m = 0.09, \dots, 0.16$  («0» пригл.),  $u_\delta/u_m = 0.11, \dots, 0.15$  («I» пригл.),  $u_\delta/u_m = 0.02, \dots, 0.07$  («II» пригл.) – для профиля скорости Ю.А. Ибад-Заде.

### Анализ скорости воды

Перед осуществлением нетрадиционной идентификации сразу выводим из рассмотрения пять вариантов данных (опыты 22, 24 – 27 с использованием профиля скорости Доу Го-женья в связи с нарушением ограничения модели O<sup>II</sup>). В процессе сравнения расчетных и эмпирических значений средней скорости воды (фильтр I) явно выпадает 91 вариант (для всех опытов – распределения скорости параболическое:  $\Delta\bar{u}^{\vartheta-p} = 14, \dots, 18\%$ ; эллиптическое: 25, ..., 30%; логарифмическое: 38, ..., 69%; показательное: 15, ..., 19%; Ю.А. Ибад-Заде «0» приближенное: 16, ..., 20%; К.Загустина: 34, ..., 62%; Тэйлора-1: 18, ..., 32%, а также отдельные опыты – для распределения Кармана опыты 18, ..., 21 (13.1, ..., 16.0%), 27 (17%) и профиля Тэйлора-2 опыты 25, 26 (–14,4...–14,5%), которые очевидным образом не согласуются с ограничением O<sub>1</sub>.

Составим матрицу (МОС) отклонений расчетных значений от эмпирических средней скорости воды (распределения скорости воды: «ДГ» – Доу Го-женья, «ИЗI» – Ю.А. Ибад-Заде «I» пригл., «ИЗII» – Ю.А. Ибад-Заде «II» пригл., «Ка» – Карман, «Тэ-2» – Тэйлор-2). Эту матрицу формируют на выходе первого этапа анализа (фильтр I) и она ориентирована на второй этап анализа. Общий член матрицы  $\Delta\bar{u}_{ij}^{\vartheta-p}$ , где  $i$  – номер строки;  $j$  – номер столбца ( $\Delta\bar{u}^{\vartheta-p} = \frac{\bar{u}^\vartheta - \bar{u}^p}{\bar{u}^\vartheta} \cdot 100\%$ , где

$\bar{u}^\vartheta, \bar{u}^p$  – эмпирические и расчетные значения средней скорости воды соответственно, м/с).

Строки МОС соответствуют рекомендованным для II этапа анализа (фильтр II) расчетным распределениям скорости воды, столбцы – допущенным к этому уровню анализа опытам. Число строк равно числу указанных профилей, число столбцов – количеству упомянутых опытов.

Из 48 членов матрицы (1) можно считать «чистыми» (т.е. согласующимися с ограничением метода O<sub>1</sub> ( $\Delta\bar{u}_{ij}^{\vartheta-p} \leq 10\%$ ) 31 вариант данных, а 17 остальных («скобочных» – заключенных в круглые скобки членов), отличающихся их превышением над O<sub>1</sub> не более 3%, приведены в (1) на случай их последующего возможного применения на  $\Sigma_\Delta$  – этапе анализа (фильтры I + II).

$$\begin{aligned}
\text{МОС} = & \left( \begin{array}{cccccc}
& 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 \\
\text{ДГ} : & 0,49 & 1,36 & 1,35 & 1,36 & 1,35 & 1,36 \\
\text{ИЗИ} : & 9,81 & 9,39 & 7,38 & 8,30 & 7,82 & 8,45 \\
\text{ИЗИИ} : & 6,49 & 5,93 & 3,44 & 4,58 & 3,99 & 4,77 \\
\text{Ка} : & 7,67 & (10,5) & & & & \\
\text{Тэ} - 2 : & (-12,1) & (-11,3) & -9,66 & (-10,4) & (-10,1) & (-10,5)
\end{array} \right. \\
& \left. \begin{array}{cccccc}
& 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 \\
& & 2,87 & & & & \\
(10,4) & 9,93 & (10,3) & 5,31 & 4,78 & 3,44 & \\
7,13 & 6,55 & 6,90 & 1,56 & 0,94 & -0,70 & \\
(10,1) & (10,5) & (11,5) & (11,9) & (12,1) & & \\
(-11,2) & (-11,1) & (-10,8) & & & & (-12,8)
\end{array} \right) .
\end{aligned} \tag{1}$$

Теперь сравним между собой эмпирические и расчетные распределения скорости воды по глубине потока для рекомендованных в (1) опытных данных. В результате подобного сравнения составим матрицу отклонений расчета от эксперимента профилей относительной скорости воды. Эту матрицу формируют на выходе второго этапа анализа (фильтр II), и она ориентирована на третий этап анализа.

$$\begin{aligned}
\text{МОПС} = & \left( \begin{array}{cccccc}
& 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 \\
\text{ДГ} : & \pm 9,3 & 12,4 & 10,9 & 15,0 & \pm 11,0 & \pm 10,8 \\
\text{ИЗИ} : & \pm 20,2 & \pm 21,5 & \pm 20,9 & \pm 23,2 & \pm 21,1 & \pm 20,6 \\
\text{ИЗИИ} : & \pm 21,9 & \pm 22,8 & \pm 21,8 & \pm 23,5 & \pm 22,0 & \pm 21,7 \\
\text{Ка} : & & & & & & \\
\text{Тэ} - 2 : & (\pm 9,1) & (15,0) & 20,1 & (20,5) & (17,7) & (16,2)
\end{array} \right. \\
& \left. \begin{array}{cccccc}
& 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 \\
& & \pm 12,7 & & & & \\
(\pm 21,5) & \pm 22,4 & (\pm 21,7) & \pm 22,0 & \pm 19,3 & \pm 19,8 & \\
\pm 21,8 & \pm 21,4 & \pm 21,8 & \pm 21,7 & \pm 19,0 & \pm 21,2 & \\
(\pm 26,6) & (\pm 28,1) & (27,5) & & & & \\
(\pm 13,7) & (\pm 15,8) & (15,1) & & & & (23,0)
\end{array} \right) .
\end{aligned} \tag{2}$$

Общий член матрицы  $\Delta_{cp} \tilde{u}(\tilde{y})_{ij}^{\vartheta-P}$  ( $\Delta_{cp} \tilde{u}(\tilde{y})_{ij}^{\vartheta-P} \leq 20\%$ )

$$(\Delta_{cp}\tilde{u}(\tilde{y}))_{ij}^{\vartheta-p} = \pm \left\{ \frac{1}{6} \sum_{l=1}^6 \left| \frac{\tilde{u}_l^{\vartheta}(\tilde{y}) - \tilde{u}_l^p(\tilde{y})}{\tilde{u}_l^{\vartheta}(\tilde{y})} \right| \cdot 100\% \right\}_{ij},$$

где  $\tilde{u}_l^{\vartheta}(\tilde{y})$ ,  $\tilde{u}_l^p(\tilde{y})$  – эмпирические и расчетные распределения скорости воды по глубине потока соответственно;  $l$  – текущий индекс. Индекс  $l$  соответствует значениям относительной вертикальной координаты точки измерения ( $l = 1$  ( $\tilde{y} = \tilde{\Delta}$ ), 2 (0,2), 3 (0,4), 4 (0,6), 5 (0,8), 6 (1,0)); наличие в указанном выражении знака модуля соответствует принципу накопления ошибок, т.е. ошибки только складываются, вне зависимости от «родного» их знака «+», «-» или «±».

Строки МОПС соответствуют рекомендованным для III этапа анализа (фильтры I+II) расчетным распределениям скорости воды, столбцы – допущенным к этому уровню анализа опытам.

В матрице (2) опущены члены, превышающие ограничение метода  $O_2$  ( $\Delta_{cp}\tilde{u}(\tilde{y})_{ij}^{\vartheta-p} \leq 20\%$ ) более чем на 10% (профиль Кармана, опыты 16, 17, 25, 26 (31,4, ..., 36,2%). Из 44 вариантов данных указанной матрицы вызывают сомнения данные, превышающие ограничение метода  $O_2$  более чем на 5% (профиль Кармана, опыты 22 – 24 ( $\pm 26,6$ , ...,  $\pm 28,1\%$ ). Указанные сомнения можно развеять или подтвердить на следующем этапе анализа.

Проанализируем суммарные отклонения  $\Sigma_{\Delta}$ . Составим матрицу подобных отклонений. Эту матрицу формируют на выходе третьего этапа анализа (фильтры I + II) и она ориентирована на четвертый этапа анализа.

$$M\Sigma_{\Delta} = \begin{pmatrix} & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 \\ ДГ : & \pm 9,8 & 13,8 & 12,3 & 16,4 & \pm 12,4 & \pm 12,2 \\ ИЗI : & \pm 30,0 & & \pm 28,3 & & \pm 28,9 & \pm 29,1 \\ ИЗII : & \pm 28,4 & \pm 28,7 & \pm 25,2 & \pm 28,1 & \pm 26,0 & \pm 26,5 \\ Тэ - 2 : & \pm 21,1 & \pm 26,3 & \pm 29,8 & & \pm 27,8 & \pm 26,7 \\ & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 \\ & & \pm 15,6 & & \pm 27,3 & \pm 24,1 & \pm 23,2 \\ & \pm 28,9 & \pm 27,9 & \pm 28,7 & \pm 23,3 & \pm 19,9 & \pm 21,9 \\ & \pm 24,9 & \pm 26,9 & \pm 25,8 & & & \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Общий член матрицы  $\Sigma_{\Delta ij} = \pm \left\{ \Delta u_{ij}^{\vartheta-p} + \left| \Delta_{cp}\tilde{u}(\tilde{y})_{ij}^{\vartheta-p} \right| \right\}$ .

Строки соответствуют рекомендуемым профилям для использования при выборе профилей мутности воды на этапе  $\tilde{S}(\tilde{y})$ – анализа, столбцы – отобранным опытам для того же этапа анализа.

Анализ матрицы (3) с учетом ограничения метода  $O_3$  ( $\Sigma_{\Delta} \leq 30\%$ ) приводит к

следующему: из 17 «скобочных» членов матрицы (2) остаются в результате применения ограничений  $O_2$  и  $O_3$  метода 7 вариантов данных. При этом три члена были опущены при составлении матрицы (2), три члена, вызывавшие сомнения, выпали при составлении матрицы (3), а дополнительно четыре «скобочных» члена были выведены после анализа матрицы (3). Следовательно, наш осторожный подход к формированию матриц может быть признан достаточно убедительным (7 против 17 – неплохой результат).

В итоге мы получили 34 варианта данных, которые могут, на первый взгляд, быть рекомендованы к следующим этапам анализа. Однако здесь настала очередь дополнительных (физических) ограничений модели: имеются в виду отклонения расчета от эксперимента по относительной скорости воды в придонной части потока. Составим матрицу (4) подобных отклонений МВПС<sub>1</sub>, общим членом которой является  $\Delta_{cp} \tilde{u}^{\varepsilon-p}(\partial.ч) = \frac{|\Delta \tilde{u}^{\varepsilon-p}(\tilde{\Delta})| + |\Delta \tilde{u}^{\varepsilon-p}(0,2)|}{2}$ , где обозначение «д.ч.» означает придонную часть потока;  $\Delta \tilde{u}^{\varepsilon-p}(\tilde{\Delta})$  и  $\Delta \tilde{u}^{\varepsilon-p}(0,2)$  – отклонения расчетных относительной скорости воды от экспериментальных ее значений в точках с координатами  $\tilde{\Delta}$  и 0,2 соответственно [12].

$$MVPS_1 = \begin{pmatrix} & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 \\ DG : & 25\% & 37\% & 33\% & 40\% & 31\% & 32\% \\ IZI : & 52\% & & 56\% & & 54\% & 55\% \\ IZI : & 56\% & 62\% & 60\% & 63\% & 59\% & 59\% \\ T\bar{\varepsilon} - 2 : & 24\% & 41\% & 54\% & & 47\% & 42\% \\ \\ & 22 & 23 & 24 & 25 & 26 & 27 \\ & & 30\% & & & & \\ & & & & 57\% & 51\% & 52\% \\ 57\% & 58\% & 57\% & 58\% & 54\% & 54\% \\ 32\% & 35\% & 36\% & & & & \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Как было установлено ранее [13], при исследовании частично изученных открытых водотоков критерий минимизации указанных отклонений имеет вид  $Kr^m = O_3 (\leq 30\%)$ . С учетом этого значения приходим к выводу, что от матрицы (4) остаются только три члена: профиль Доу Го-женя – опыты 16, 23 и распределение Тэйлора-2 – опыт 16. Видно, что произошло 11-кратное сокращение объема вычислительных работ на следующих этапах анализа.

### Итоги анализа скорости воды

В результате к  $\tilde{S}(\tilde{y})$ -анализу допускаются упомянутые три варианта данных. При этом расчетные формулы имеют вид:

для средней скорости воды –  
Доу Го-жень, опыт 16

$$\bar{u}^P = 1.92 \cdot \int_0^1 \left[ 1 - \frac{\left\{ 9.8 / (36 / \sqrt{9.81})^{0.75} \right\} \cdot (1 - \tilde{y})^2}{1 + \sqrt{1 + 50\tilde{y} \cdot (1 - \tilde{y})^2}} \right] d\tilde{y} = 1.59 \text{ м/с}, \quad (5)$$

Доу Го-жень, опыт 23

$$\bar{u}^P = 2.07 \cdot \int_0^1 \left[ 1 - \frac{\left\{ 9.8 / (32 / \sqrt{9.81})^{0.75} \right\} \cdot (1 - \tilde{y})^2}{1 + \sqrt{1 + 50\tilde{y} \cdot (1 - \tilde{y})^2}} \right] d\tilde{y} = 1.67 \text{ м/с}, \quad (6)$$

Тэйлор-2, опыт 16

$$\bar{u}^P = 1,92 - 0,59 \cdot 0,217 = 1,79 \text{ м/с}; \quad (7)$$

для профилей относительной скорости воды (табл. 1) –

Доу Го-жень, опыт 16

$$\tilde{u}^P(\tilde{y}) = 1 - \frac{1.57 \cdot (1 - \tilde{y})^2}{1 + \sqrt{1 + 50\tilde{y} \cdot (1 - \tilde{y})^2}}, \quad (8)$$

Доу Го-жень, опыт 23

$$\tilde{u}^P(\tilde{y}) = 1 - \frac{1.71 \cdot (1 - \tilde{y})^2}{1 + \sqrt{1 + 50\tilde{y} \cdot (1 - \tilde{y})^2}}, \quad (9)$$

Тэйлор-2, опыт 16 (табл. 2)

$$\tilde{u}^P(\tilde{y}) = -0.47 \cdot \left\{ \arcsin \sqrt{1 - \tilde{y}} - \sqrt{\tilde{y}} \cdot \sqrt{1 - \tilde{y}} \right\} + 1. \quad (10)$$

Кстати, формирование матрицы (4) было осуществлено на основе данных, подобных содержащимся в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Профиль Доу Го-женя ПК р. Тору-Айгыр, опыт 16				Профиль Доу Го-женя ПК р. Тору-Айгыр, опыт 23			
$\tilde{y}$	$\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y})$	$\tilde{u}^P(\tilde{y})$	$\frac{\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y}) - \tilde{u}^P(\tilde{y})}{\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y})} \cdot 100\%$	$\tilde{y}$	$\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y})$	$\tilde{u}^P(\tilde{y})$	$\frac{\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y}) - \tilde{u}^P(\tilde{y})}{\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y})} \cdot 100\%$
0.0062	0.54	0.28	48.8	0.025	0.67	0.34	48.9
0.2	0.74	0.73	1.4	0.2	0.80	0.70	12
0.4	0.85	0.85	0	0.4	0.90	0.84	6.6
0.6	0.90	0.93	-2.92	0.6	0.96	0.92	4.2
0.8	0.95	0.98	-2.73	0.8	1	0.97	2.6
1.0	1.0	1.0	0	1	0.98	1	-2.04
			$\Sigma = 55.8 \text{ ср} = \pm 9.3$				$\Sigma = 76.3 \text{ ср} = \pm 12.7$

Таблица 2

Профиль Тэйлора-2 ПК р. Тору-Айгыр, опыт 16			
$\tilde{y}$	$\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y})$	$\tilde{u}^p(\tilde{y})$	$\frac{\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y}) - \tilde{u}^p(\tilde{y})}{\tilde{u}^{\circ}(\tilde{y})} \cdot 100\%$
0.0062	0.54	0.34	37.5
0.2	0.74	0.67	9.64
0.4	0.85	0.81	4.2
0.6	0.90	0.91	-1
0.8	0.95	0.97	-2.1
1,0	1.0	1.0	0
			$\Sigma = 54.4$ ср = $\pm 9.07$

### Анализ мутности воды

Прежде чем приступить к  $\tilde{S}(\tilde{y})$ -анализу, вспомним, что для рассматриваемого объекта исследований отсутствуют наносные характеристики взвесенесущего потока воды.

Здесь нам поможет то обстоятельство, что на натурном объекте (ПК р. Тору-Айгыр) были проведены опыты в двух вариантах: изученного (ВИВ) и частично изученного (ВЧИВ) водотоков.

Имеет смысл провести сравнительный анализ опытов из указанных вариантов друг с другом на предмет сопоставимости гидравлических условий указанных экспериментов. Результаты подобного анализа приведены во вспомогательной табл. 3, откуда можно заключить, что на основе анализа двух интегральных характеристик (расхода воды  $Q$  и среднего значения коэффициента Шези  $C_{cp}$ ) устанавливается удовлетворительное соответствие опытов 16 (ВЧИВ) и 1 (ВИВ), 23 (ВЧИВ) и 6 (ВИВ).

Таблица 3

ВЧИВ, опыт	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_{cp}, \text{ м}^{1/2}/\text{с}$	ВИВ, опыт	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_{cp}, \text{ м}^{1/2}/\text{с}$	$\delta Q, \%$	$\delta C_{cp}, \%$
16	0.300	36	1	0.300	32	0	11.1
23	0.370	32	6	0.391	30	-5.68	6.25

Подобный сопоставительный анализ наталкивает на мысль о возможности присоединения наносных характеристик опытов 1 и 6 (ВИВ) к опытам 16 и 23 (ВЧИВ) соответственно.

Присоединенные данные:

опыт 1 (ВИВ) → опыт 16 (ВЧИВ) – средний диаметр взвешенных наносов  $\bar{d} = 0,71 \text{ мм}$ ; средняя по сечению потока мутность воды  $\bar{S} = 2.01 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/\text{м}^3$ ; максимальный (придонный) диаметр взвешенных наносов  $d_m = 0.82 \text{ мм}$ ; мутность воды на выступе шероховатости  $S_{\delta} = 2.39 \cdot 10^{-2} \text{ кг}/\text{м}^3$  (интерполяция); средняя относительная мутность воды  $\tilde{S}_{cp} = 0.063$ ;

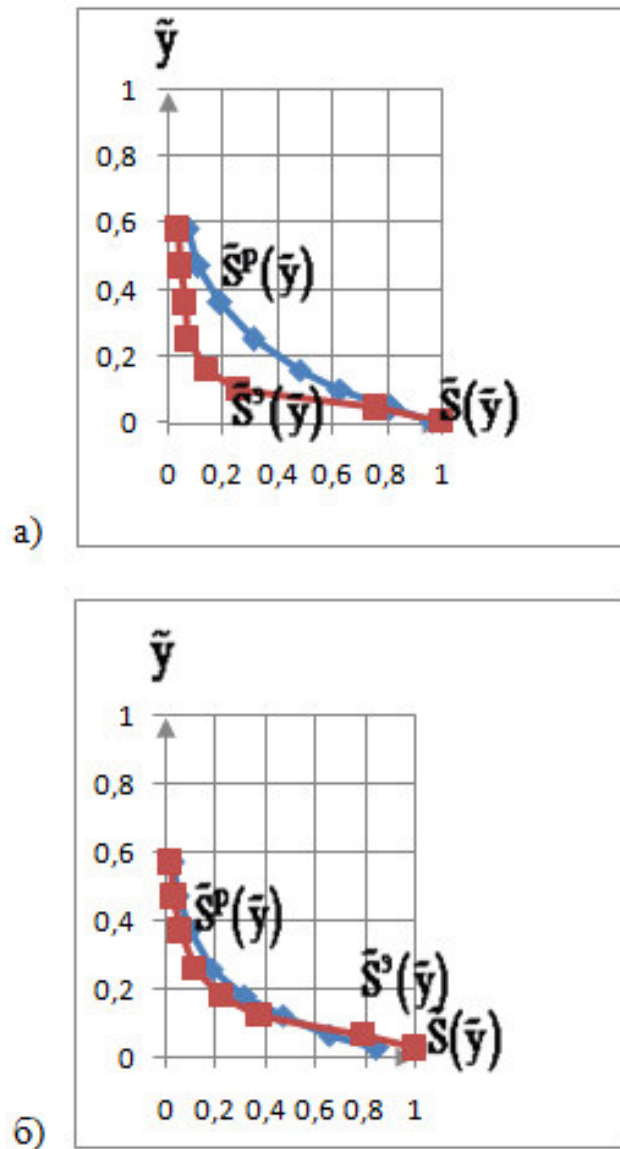
опыт 6 (ВИВ) → опыт 23 (ВЧИВ)  $-\bar{d} = 1,31 \text{ мм}$ ;  $\bar{S} = 1.11 \cdot 10^{-1} \text{ кг}/\text{м}^3$ ;



$d_m = 1.69 \text{ мм}$ ;  $S_\delta = 1.18 \text{ кг} / \text{м}^3$  (интерполяция);  $\tilde{S}_{cp} = 0.076$ .

Сопоставительный анализ (рисунок) эмпирических и расчетных распределений относительной мутности воды по глубине потока показал, что для профиля Доу Го-жень могут быть признаны идентифицированными опыты 16 и 23.

На рисунке: а – профиль Доу Го-жень, опыт 16; б – профиль того же автора, опыт 23.



Расчет принятых к анализу распределений относительной мутности воды по глубине потока проведен по формулам:

Доу Го-жень, опыт 16 –

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = \exp\left(-67.1 \cdot \frac{0.0748}{1.60} \cdot \frac{1}{0.0062^{0.125} \cdot [0.75 + 0.0062^{0.125}]} \cdot \tilde{y}\right) = \exp(-4.63 \cdot \tilde{y}); \quad (11)$$

Доу Го-жень, опыт 23 –

$$\tilde{S}(\tilde{y}) = \exp\left(-67.1 \cdot \frac{0.141}{1.72} \cdot \frac{1}{0.025^{0.125} \cdot [0.75 + 0.025^{0.125}]} \cdot \tilde{y}\right) = \exp(-6.32 \cdot \tilde{y}). \quad (12)$$

## Итоги анализа мутности воды

Рассмотрим результаты  $\tilde{S}(\tilde{y})$ -анализа (см. рисунок). Во-первых, нам не требуется составлять матрицу выбора прогнозируемых распределений относительной мутности воды (МВПРМ), так как в нашем распоряжении имеются лишь два варианта данных. Во-вторых, отсутствуют значения поверхностной мутности воды (рисунок): самая «высокая» координата составляет  $\tilde{y} = 0.57, \dots, 0.58$ . Поэтому здесь прибегнем к интерполяции мутности. Предполагая, что интенсивность уменьшения  $\tilde{S}(\tilde{y})$  одна и та же, как для последней пары точек, и полагая указанное изменение прямолинейным, получим  $\tilde{S}_n = -6 \cdot 10^{-3}$  (опыт 16) и  $\tilde{S}_n = -4.8 \cdot 10^{-2}$  (опыт 23). Так как относительная мутность воды есть величина существенно положительная и, учитывая неизбежные ошибки при интерполяции, можем смело полагать, что рассматриваемые эксперименты прогнозируют нулевую мутность на поверхности воды. Этот факт противоречит утверждению диффузионной теории о конечности мутности на поверхности потока. Поэтому в нашем случае диффузионная расчетная схема оценки средней относительной мутности воды не может быть использована.

Гравитационная расчетная схема с достаточно большим запасом ( $\bar{u}^3 / W \cdot g \cdot H = 27, \dots, 18$ , тогда как ограничение  $O^r$  имеет вид  $\geq 2$ ) применима к условиям опытов 16 и 23. Средняя расчетная относительная мутность воды равна  $0.50, \dots, 0.52$ , а отношение эксперимента к расчету  $\tilde{S}_{cp}^e / \tilde{S}_{cp}^p = 0,15, \dots, 0,12$ . Эти значения ниже нижнего предела ограничения  $O_5$  метода, что говорит о недогруженности исследуемых потоков воды взвешенными наносами. При повышении их содержания в воде дисбаланс между взвешиванием и осаждением наносов будет устраняться и стремиться к установлению баланса между указанными процессами.

### Заключение

Исследован взвесенесущий поток воды в условиях опытов 16 – 27 на ПК р. Тору-Айгыр в режиме частично изученного водотока.

Восстановление недостающей информации (объект второго класса дефицита исходной информации) представляет собой совокупность способов:

оценки отношения придонной скорости воды к максимальной скорости потока в случае использования соотношений Ю.А. Ибад-Заде;

сравнительного анализа гидравлических характеристик опытов (изученный водоток, ВИВ и частично изученный водоток, ВЧИВ) для выявления сопоставимых друг с другом условий экспериментов;

присоединения наносных характеристик (ВИВ к опытам из серии ВЧИВ). В результате идентифицированы опыты 16 и 23 профилем относительной скорости воды Доу Го-жэня и распределением относительной мутности потока того же автора при установленной недогруженности воды взвешенными наносами.

Применение дополнительных (физических) ограничений позволяет в 11 раз сократить объем вычислительных работ на промежуточных этапах анализа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Пресняков К.А.* Идентификация гидравлического и наносного режимов водотока // Проблемы управления и информатики. – 2000. – С. 365–370.
2. Пат. КР №1169. Способ идентификации гидравлического и наносного режимов потока в бьефе гидротехнического сооружения / Пресняков К.А. // Кыргызпатент. "Бюллетень патентов и товарных знаков КР". – №7. – Оpubл. 31.07.2009.
3. *Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О.* Основные положения модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков // Итоги науки. – М.: РАН. – 2014. – Т. 1. – С.61-87.
4. *Пресняков К.А., Керимкулова Г.К., Аскалиева Г.О.* Нетрадиционная идентификация режимных параметров открытых водотоков.– Бишкек: Текник, 2016.
5. *Караушев А.В.* Проблемы динамики естественных водных потоков. – Л.: ГИМИЗ, 1960.
6. *Великанов М.А.* Динамика русловых потоков. Т.1.–М.: Госиздат техн.-теор. лит., 1954.
7. *Клевцов Е.В.* Исследование процесса истирания бетонных облицовок каналов с бурным режимом течения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Алма-Ата: КазНИИ энергетика, 1980.
8. *Доу Го-жень.* Перемещение наносов и устойчивость дна водных потоков: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л.: 1960.
9. *Ибад-Заде Ю.А.* Водопроводные каналы. – М.: Стройиздат, 1975.
10. *Аскалиева Г.О., Турдумамбетова Э.Б.* Преобразование соотношений Ю.А. Ибад-Заде для скорости и мутности потока воды к компактному виду//Проблемы автоматизации и управления. – 2013. –№1. – С.46-51.
11. *Zagustin K.* Sediment Distribution in Turbulent Flow // Journal of Hydraulic Research. – 1968. – Vol. 6, №2. – P.163-171.
12. *Пресняков К.А.* О возможностях дополнительных (физических) ограничений модели нетрадиционной идентификации режимных параметров открытых водотоков // Проблемы автоматизации и управления. – 2015. – №1. – С.197-201.
13. *Пресняков К.А., Керимкулова Г.К.* Нетрадиционная идентификация объектов различного класса дефицита исходной информации. Результаты исследований первого объекта // Проблемы автоматизации и управления. – 2015. – №2. – С.82-89.
14. *Пресняков К.А.* Скорость и мутность воды в приложении к проблеме очистки ее от наносов. – Бишкек: Илим, 2003.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Ж.Ш. Шаршеналиевым.*

*E-mail:*

*Пресняков Константин Александрович – [avtomatika\\_nankr@mail.ru](mailto:avtomatika_nankr@mail.ru);*

*Керимкулова Гулсаат Кубатбековна – [gulsaat@mail.ru](mailto:gulsaat@mail.ru).*